(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 35 501 A1** 2004.02.26

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 35 501.4**
(22) Anmeldetag: **31.07.2003**
(43) Offenlegungstag: **26.02.2004**

(51) Int Cl.[7]: **B23K 26/08**

(66) Innere Priorität:
102 35 087.6 31.07.2002

(71) Anmelder:
KUKA Schweissanlagen GmbH, 86165 Augsburg, DE

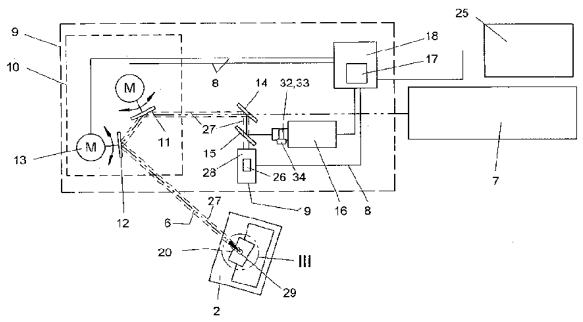
(74) Vertreter:
Ernicke & Ernicke, 86153 Augsburg

(72) Erfinder:
Tradt, Hans-Richard, 86316 Friedberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen oder Schneiden mit Laserstrahl**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schweißen oder Schneiden von Werkstücken (2) entlang einer Werkstückkante unter Einsatz eines stationären oder bewegten Laserkopfes (9), der einen Laserstrahl (6) auf den Prozessort (21) fokussiert, welcher über ein Strahlleitsystem (10) von einer Strahlquelle (7) eingekoppelt wird. Der Prozess wird von einem in den Strahlengang eingekoppelten Erfassungssystem (16) beobachtet, welches mit einem erweiterten Gesichtsfeld (20) dessen Prozessort (21) und dessen weitere Umgebung abwechselnd optisch erfasst und auswertet. Hierbei wird zum Erfassen der Umgebung der Prozessort (21) durch eine dynamische Blendeneinrichtung (32) temporär ausgeblendet. Die Blendeneinrichtung (32) kann ein oder mehrere mechanische Blenden (33) mit einer steuerbaren Stelleinrichtung (34) oder einzeln schaltbare Messfeldbereiche (35, 36) im Bildsensor einer dynamischen Kamera (16) aufweisen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schweißen oder Schneiden von ein oder mehreren Werkstücken entlang einer vorgegebenen Bahn mittels eines Laserstrahls und mit den Merkmalen im Oberbegriff des Verfahrens- und Vorrichtungshauptanspruchs.

[0002] Die DE-198 52 302 A1 zeigt ein Laserschweißverfahren nebst Vorrichtung. Die Schweißvorrichtung besitzt einen Laserkopf, der einen Laserstrahl mit konstanter Ausrichtung und Orientierung emittiert, wobei das Werkstück relativ zum stationären Laserkopf bewegt wird. Über einen Lochspiegel im Strahlengang des Laserstrahls ist ein Detektor, z.B. eine CCD- oder CMOS-Kamera angeordnet, die das vom Bearbeitungsort reflektierte Laserlicht aufnimmt und auswertet. Der Detektor besitzt ein vergrößertes Beobachtungs- oder Gesichtsfeld, mit dem sowohl der Prozessort selbst, wie auch dessen weitere Umgebung, z.B. die zu verfolgende Bahn und auch die gebildete Schweißnaht, beobachtet werden können. Hierbei ist auch eine ringförmig den Laserstrahl umgebende Fremdlichtquelle vorhanden, die einen Lichtkreis auf dem Werkstück abbildet, welcher vom gleichen Detektor als Bild aufgenommen und unter Triangulation ausgewertet wird. Bei Verwendung einer CMOS-Kamera sollen sowohl der Bearbeitungsort mit dem Keyhole und der Dampfkapillare, wie auch der umgebende Lichtkreis ohne Einschränkungen gemeinsam in einem Bild erfasst und ausgewertet werden können. Dies soll dank des hohen Dynamikbereichs einer CMOS-Kamera möglich sein. Bei einer CCD-Kamera mit einem geringeren Dynamikbereich wird ein optisches Filtersystem fest vorgeschaltet, welches für jeden Beobachtungsbereich vorbestimmte Eigenschaften haben soll. Auch hier werden Prozessort und Umgebung in einem Bild gleichzeitig aufgenommen und ausgewertet. In der Praxis hat sich gezeigt, dass dies nicht zu den gewünschten Ergebnissen führt.

[0003] Aus der DE 197 16 293 C2 ist eine Vorrichtung zur Regelung der Fokuslage beim Laserstrahlschweißen bekannt, wobei eine außerhalb des Strahlengangs vom Laserstrahl und extern neben dem Laserkopf angeordnete CCD-Kamera eingesetzt wird. Sie ist auf das Schmelzbad gerichtet und dient zur Aufnahme der Badgeometrie anhand der vom Schmelzbad ausgesandten Wärmestrahlung. Änderungen der Fokuslage führen zu einer Änderung der Badgeometrie. Die CCD-Kamera beobachtet nur den Prozessort und das Schmelzbad, wobei zur Kontrasterhöhung Filter und Blenden stationär vorgeschaltet werden können. Der Einsatzbereich dieser Vorrichtung ist auf die reine Fokuslagenkontrolle beschränkt.

[0004] Die DE 698 00 179 T2 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schweißen metallischer Mantelrohre mittels einer Laserschweißvorrichtung, bei der ebenfalls durch eine CCD-Kamera mittels Strahlteilern über den Strahlengang des Laserstrahls die Schweißzone beobachtet und das erhaltene Bild ausgewertet werden soll. Hierbei wird vor allem der Vorlauf und die dortige Kantenlage des gerundeten Blechzuschnitts vor dem Prozessort betrachtet. Bei Änderungen der Blechkantenlage wird der Laserkopf entsprechend nachgeführt. Es findet jedoch weder eine Prozessbeobachtung, noch eine Nachkontrolle der Schweißnaht statt.

[0005] Ein anderes Laserschweißverfahren nebst Vorrichtung sind aus der DE-41 06 008 C2 bekannt. Hierbei wird ein Werkstück entlang einer vorgegebenen Bahn mittels eines stationären Laserkopfes mit einer Laseroptik mit langer Brennweite und mit einer beweglichen Fokussiereinrichtung geschweißt. Der von einer Strahlquelle einkoppelbare Laserstrahl wird durch gesteuerte Bewegung von ein oder mehreren Spiegeln auf den Prozessort fokussiert. In den Strahlengang ist ein optisches Erfassungssystem eingekoppelt, mit dem während des Schweißens der Prozess beobachtet und auf das Auftreten von Schweißspritzern überwacht wird, die sich durch Helligkeitsunterschiede bemerkbar machen. Die optische Erfassungseinrichtung ist zur Helligkeitsmessung entsprechend ausgebildet, wobei das Bildsignal über zwei eindimensionale CCD-Empfänger erfasst und ausgewertet wird.

[0006] Die DE 198 28 723 zeigt eine andere Laserbearbeitungseinrichtung mit einer steuerbaren Fokussiereinrichtung, wobei in den Strahlengang eine Überwachungskamera eingekoppelt ist, deren Gesichtsfeld einen den Arbeitspunkt umgebenden Teil des Bearbeitungsfeldes umfasst. Hierbei handelt es sich um eine Lasermarkierungs- oder Laserbeschriftungseinrichtung. Mit der Überwachungskamera wird die Lage des an der stationären Lasereinrichtung vorbei bewegten Werkstücks erkannt. Das von der Kamera empfangene Bild wird digital gespeichert und in einem digitalen Bildbearbeitungssystem ausgewertet. Hierdurch kann der Bearbeitungsvorgang durch Bildvergleich automatisch kontrolliert werden. Außer der Lagekontrolle der Bildteile kann durch den digitalen Bildvergleich auch das Bearbeitungsergebnis, d.h. die Lasermarkierung oder Laserbeschriftung, auf ihre Korrektheit überprüft werden. Anhand der erkannten Bauteillage werden die beweglichen Spiegel der Fokussiereinrichtung entsprechend eines vorgegebenen Steuerprogramms zur Erzeugung der gewünschten Markierung oder Beschriftung bewegt.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Technik zum Laserschweißen oder -schneiden aufzuzeigen.

[0008] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen im Verfahrens- und Vorrichtungshauptanspruch. Mit dem optischen Erfassungssystem können sowohl der Prozessort, als auch dessen weitere Umgebung in getrennten Bildern und abwechselnd erfasst sowie jeweils separat ausgewertet werden. Eine dynamische Blendeneinrichtung sorgt dabei für jeweils optimale Licht- und Bilderfassungsbedingun-

gen. Um die Bildauswertung der weiteren Umgebung durch die am Prozessort entstehende sehr hohe Helligkeit nicht zu beeinträchtigen, kann der Prozessort temporär ausgeblendet werden.

[0009] Zum einen kann die am Werkstück vorgegebene und sichtbar markierte Bahn, z.B. eine Werkstückkante, welche der Laserstrahl beim Schweiß- oder Schneidprozess verfolgen soll, optisch erfasst und ausgewertet werden. Hierbei wird ein zweidimensionales Bild aufgenommen, wobei die Bilddaten mit Zeit- und Wegdaten bzgl. der Relativbewegung zwischen Werkstück und Laserkopf gekoppelt werden. Aus diesen weg- bzw. zeitabhängigen Bilddaten kann eine Positionsbestimmung der zu verfolgenden Bahn durchgeführt werden. Dank dieses in den Laserkopf integrierten optischen Erfassungssystems kann auf zusätzliche externe kantentastende Sensoren verzichtet werden. Die Erfassungsgenauigkeit des integrierten optischen Erfassungssystems ist zudem besser. Das aufgenommene 2-D-Bild erlaubt ferner komplexere Auswertungen als die bisher übliche, einfachere kantentastende Sensorik.

[0010] Zusätzlich zur zweidimensionalen Bilderfassung kann eine Abstandsmessung des Werkstück- oder Fokusabstandes stattfinden. Auf diese Weise ergeben sich dreidimensionale Positionsdaten, die eine noch bessere und umfassendere Weiterverwertung ermöglichen. Die Abstandsmessung kann von der Genauigkeit her eine wesentlich geringere Auflösung haben als die zweidimensionale Bilderfassung, da der Fokusabstand des Lasers aufgrund der Strahlcharakteristik meist nicht kritisch ist.

[0011] Die Bild- und Positionsdatenerfassung kann sowohl online wie auch offline angewandt werden. Bei online-Erfassung ist eine dynamische digitale Kamera, z.B. eine CMOS-Kamera vorteilhaft.

[0012] Aus den zwei- oder dreidimensionalen Bild- bzw. Positionsdaten können sich unterschiedliche weitere Verwertungen ergeben. Hierbei kann z.B. die zu verfolgende Bahn vor dem Schweiß- oder Schneidprozess zunächst mit einem Laser-Messstrahl offline an ein oder mehreren einzelnen Bahnpunkten oder in ihrem teilweisen oder vollständigen Verlauf abgetastet werden. Anhand dieser Ist-Positionsdaten kann das offline-programmierte Bahnprogramm korrigiert und anhand dessen der Schweißprozess ohne weitere Sensorbeeinflussung durchgeführt werden. In einer weiteren Variante kann die zu verfolgende Bahn während des Schweiß- oder Schneidprozesses gesucht und verfolgt werden. Auf die vorgenannte offline-Abtastung der Bahn kann verzichtet werden. Alternativ ist es auch möglich, die Einhaltung der zuvor offline erfassten Bahn während des Prozesses zu überwachen. Mit dieser erfindungsgemäßen Technik ist es möglich, beim Schweißen oder Schneiden die vorgegebene Bahn mit hoher Genauigkeit einzuhalten und eine entsprechend hohe Prozessgüte und Schweiß- oder Schneidqualität zu erhalten. Dies ist vor allem beim Laserschweißen von Vorteil, weil hier Bahnabweichungen wegen des kleinen Prozessortes sich sofort in einer deutlichen Verminderung der Schweißqualität äußern würden. Während des Schweiß- oder Schneidprozesses kann das vom Prozessort und der weiteren Umgebung aufgenommene zweidimensionale Bild noch auf andere Weise, z.B. zur Qualitätsüberwachung einer Schweißnaht ausgewertet werden. Hierbei wird das online aufgenommene Nahtbild mit vorher aufgenommenen und gespeicherten Bilddaten einer optimalen Schweißnaht verglichen. Bei Auftreten von Nahtmängeln kann während des Prozesses eine Korrektur in geeigneter Weise erfolgen. Aus dem Vergleich der Ist-Naht mit der Soll-Naht kann ggf. auch Art und Ursache des Fehlers zur zielgerichteten Korrektur bestimmt werden.

[0013] Mit dem optischen Erfassungssystem wird ein gegenüber dem eigentlichen Prozessort vergrößertes Gesichtsfeld aufgenommen, welches nicht nur den Prozessort, sondern auch dessen weitere Umgebung mit einem größeren Radius oder Abstand zeigt. In diesem vergrößerten Gesichtsfeld können während des Prozesses und getrennt von Prozessort in verschiedenen sogenannten Fenstern unterschiedliche Bildmerkmale von der Bahn, der Naht oder der Umgebung erfasst und ausgewertet werden. Hierdurch kann z.B. gleichzeitig mit einem Vorlauffenster die zu verfolgende Bahn gesucht und mit einem Nachlauffenster die Nahtgüte überwacht werden. Die größenmäßig begrenzten Felder haben den Vorteil, dass nur ein Teilbereich der gesamten Bilddaten übertragen und ausgewertet werden muss, was schnellere Berechnungen und Datentransfers erlaubt. Dies ist vor allem für online-Regelungen günstig.

[0014] In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung angegeben.

[0015] Die Erfindung ist in den Zeichnungen beispielsweise und schematisch dargestellt. Im Einzelnen zeigen:

[0016] **Fig.** 1 eine Lasereinrichtung mit einem Roboter und einem Laserkopf in Seitenansicht,

[0017] **Fig.** 2 eine Schemadarstellung des Laserkopfes mit eingekoppelter Kamera und Abstandsmessung sowie mit dem Werkstück und dem Gesichtsfeld der Kamera,

[0018] **Fig.** 3 eine vergrößerte Darstellung der Einzelheit III von **Fig.** 2 und des Gesichtsfelds der Kamera,

[0019] **Fig.** 4 eine dynamische Blendeneinrichtung mit Messfeldumschaltung der Kamera und

[0020] **Fig.** 5 bis 8 zwei Varianten der Abstandsmessung mit unterschiedlichen Schweißnähten und zugehörigen Abstandsdiagrammen.

[0021] In **Fig.** 1 ist eine Lasereinrichtung, vorzugsweise eine Laserschweißeinrichtung (**1**) in Seitenansicht und schematisiert dargestellt. Mit der Laserschweißeinrichtung (**1**) wird z.B. ein sog. Remote-Laserschweißen von ein oder mehreren Werkstücken (**2**) mittels eines Laserstrahls (**6**) mit langer Brennweite durchgeführt. Die Laserschweißeinrichtung um-

fasst einen Laserkopf (**9**) mit einer geeigneten Laseroptik und einem vorzugsweise beweglichen Strahlleitsystem (**10**), welches mehrere bewegliche und über einen Spiegelantrieb (**13**) angetriebene Spiegel (**11**,**12**) zur gezielten Ablenkung und Fokussierung des Laserstrahls (**6**) umfasst. Ein solches Strahlleitsystem (**10**) wird häufig auch als Scanneroptik bezeichnet.

[0022] Alternativ kann ein starres Strahlleitsystem mit stationären Spiegeln und/oder Linsen eingesetzt werden, welches den Laserstrahl (**6**) nicht ablenkt.

[0023] Der Laserkopf (**9**) wird von einem Manipulator, vorzugsweise einem mehrachsigen Industrieroboter, z.B. einem sechsachsigen Gelenkroboter, mit dem erforderlichen Fokusabstand entlang des Werkstücks (**2**) geführt, um eine Laserschweißnaht zu erzeugen. Durch die z.B. zwei beweglichen Spiegel (**11**,**12**) kann in der bevorzugten Ausführungsform zusätzlich der Laserstrahl (**6**) bewegt werden. Die Roboterbewegungen und die Laserstrahlbewegungen können überlagert werden. Alternativ kann zumindest bei kleinen Werkstückabmessungen nur der Laserstrahl (**6**) bewegt werden, wobei der Manipulator (**4**) steht oder durch eine starre Halterung für den Laserkopf (**9**) ersetzt wird. Ferner ist eine kinematische Umkehr möglich, indem das Werkstück (**2**) relativ zum Laserkopf (**9**) bewegt wird.

[0024] Der Laserkopf (**9**) ist mittels einer Strahlführung (**5**) an eine externe Strahlquelle (**7**) angeschlossen. Die Strahlführung (**5**) kann ein Lichtleitfaserkabel oder eine offene oder geschlossene Spiegelstrahlführung sein. Sie kann alternativ eine beliebige andere Gestaltung haben. Die Strahlquelle (**7**) kann alternativ direkt an den Laserkopf (**9**) angebaut oder in diesen integriert sein.

[0025] Das Werkstück (**2**) kann z.B. aus zwei oder mehr aufeinander liegenden Blechen bestehen, die mit einer Laserschweißnaht entlang einer vorgegebenen Bahn (**3**) verschweißt werden sollen. Die Bahn (**3**) ist optisch in Laserstrahlrichtung sichtbar und wird z.B. von der Kante des einen Blechs gebildet. Alternativ kann es auch andere optisch erfassbare Erkennungsmerkmale der vom Laserstrahl (**6**) zu verfolgenden Bahn (**3**) für die Erzeugung der gewünschten Schweißnaht geben.

[0026] Wie **Fig.** 2 verdeutlicht, beinhaltet der Laserkopf (**9**) ein optisches Erfassungssystem, vorzugsweise eine digitale Kamera mit Bildsensor, die mit einer integrierten oder über Leitungen (**8**) angeschlossenen externen elektronischen Bildauswerteeinrichtung (**17**) verbunden ist. Die digitale Kamera kann unterschiedlich ausgebildet sein. Es kann sich z.B. um eine CCD-Kamera oder auch um eine dynamische Kamera, z.B. eine CMOS-Kamera handeln. Die Kamera (**16**) besitzt eine vorzugsweise telezentrische Optik und ist über mindestens einen Strahlteiler (**14**,**15**), z.B. zwei teildurchlässige Einkoppelspiegel vor den beweglichen Spiegeln (**11**,**12**) in den Strahlengang des Laserstrahls (**6**) eingekoppelt. An den beiden Strahlteilern (**14**,**15**) wird das vom Beobachtungsort am Werkstück (**2**) zurückgeworfene Licht bzw. Bild zur Kamera (**16**) hin abgelenkt. Durch diese zweimalige Strahlumlenkung an den teildurchlässigen Einkoppelspiegeln (**14**,**15**) sieht die Kamera (**16**) in ihrem Gesichtsfeld (**20**) die Umgebung des Prozessors (**21**) seitenrichtig.

[0027] Die Kamera blickt über den Strahlengang auf den Prozessort (**21**) des Laserstrahls (**6**) am Werkstück (**2**). und besitzt ein Gesichtsfeld oder Beobachtungsfeld (**20**), welches größer als der Prozessort (**21**) ist. Das Gesichtsfeld (**20**) ist z.B. ein rechteckiges Fenster, welches den vorzugsweise zentralen Prozessort (**21**) allseitig mit Abstand umgibt und somit auch die erweiterte Umgebung um den Prozessort (**21**) aufnehmen und beobachten kann.

[0028] Die Kamera (**16**) erfasst und liefert zweidimensionale Bilder vom Prozessort (**21**) und seiner Umgebung, die von der Bildauswerteeinrichtung (**17**) ausgewertet werden können. Die Auswertung umfasst Vermessungs- und Vergleichsoperationen der aufgenommenen und ggf. in der Einrichtung (**17**) gespeicherten aktuellen 2D-Bilder mit zuvor aufgenommenen und gespeicherten 2D-Bildern. Hierbei können auch an unterschiedlichen Stellen im Gesichtsfeld (**20**) unterschiedliche Bildbestandteile erfasst und ausgewertet werden. Dies betrifft zum einen den Prozessort (**21**) selbst. Hier kann z.B. die Dampfkapillare über dem Keyhole nach der absoluten und relativen Größe vermessen, gespeichert und mit Sollwerten verglichen werden. Auch die Istwerte untereinander können zum Feststellen evtl. Änderungen im Prozess verglichen werden. Ferner kann das Farbspektrum aufgenommen und auf Informationen über den Prozess, insbesondere über etwaige Störungen ausgewertet werden.

[0029] Im Gesichtsfeld (**20**) können darüber hinaus am unteren und oberen Rand oder auch an anderen Stellen angeordnete Erfassungsfelder (**22**,**23**) vorhanden sein. Das in Bewegungsrichtung (**24**) bei der Bahnverfolgung vorn liegende und am unteren Gesichtsfeldrand befindliche Erfassungsfeld (**23**) ist ein sog. Vorlauffeld, mit dem vor dem Prozessort (**21**) die Bahn (**3**) erfasst und ausgewertet werden kann. Das Erfassungsfeld oder sog. Vorlauffeld (**23**) hat hierfür eine entsprechende Breite.

[0030] Das in Bewegungsrichtung (**24**) hinter dem Prozessort (**21**) liegende und am oberen Gesichtsfeldrand befindliche Erfassungsfeld (**22**) dient der optischen Erfassung der am Prozessort (**21**) zuvor erzeugten Schweißnaht (**37**,**38**). Dieses Erfassungsfeld oder Qualitätsfeld (**22**) hat ebenfalls eine entsprechende Breite zur sicheren Erfassung und Abtastung der Naht (**37**,**38**).

[0031] Die Bildauswerteeinrichtung (**17**) verfügt über eine elektronische Hardware und eine entsprechende Auswertesoftware. Sie kann ein oder mehrere Speicher zum kurzfristigen oder längerfristigen Speichern der aktuell aufgenommenen Bilddaten und zum Speichern anderer anderweitig aufgenommener Bilddaten aufweisen, mit denen Vergleichsoperatio-

nen durchgeführt werden können.

[0032] Die Bildauswerteeinrichtung (**17**) ist außerdem über Leitungen (**8**) mit einem System zur Weg- und/oder Zeiterfassung bei der Durchführung der Spiegelbewegungen und ggf. der Relativbewegungen zwischen Roboter (**4**) und Werkstück (**2**) gekoppelt. Dies kann z.B. eine Weg- und/oder Zeit-Messung in der Robotersteuerung (**25**) sein. In den meisten Fällen ist die zu verfolgende Bahn (**3**) größer als das Gesichtsfeld (**20**) der Kamera (**16**). In diesem Fall werden die Weg- und/oder Zeitdaten mit den aufgenommenen Bilddaten verknüpft, um die aufgenommenen Bilder lokalisieren und den zugehörigen Orten am Werkstück (**2**) zuordnen zu können.

[0033] Die Bildauswerteeinrichtung (**17**) ist außerdem über Leitungen (**8**) mit einer Steuerung (**18**) für die Bewegung der Spiegel (**11**,**12**) und der Spiegelantriebe (**13**) verbunden. Die Bildauswerteeinrichtung (**17**) kann auch in diese Steuerung (**18**) integriert sein. Beide Komponenten können alternativ in die Robotersteuerung (**25**) integriert sein. Die gesamte Bildauswertung und weitere Bildverarbeitung, insbesondere Steuerung des Roboters (**4**) und des Laserkopfes (**9**) bzw. des Strahlleitsystems (**10**) erfolgt dann von der Robotersteuerung (**25**) aus. Hier steht eine ausreichend mächtige Rechnerhardware zur Verfügung. Eine zentrale Bildverarbeitung hat vor allem Vorteile bei der nachfolgend näher beschriebenen Online-Auswertung, die sehr schnelle Recheneinheiten erfordert.

[0034] Am oder im Laserkopf (**9**) ist ferner eine Abstandsmesseinrichtung (**19**) zur Messung des Werkstück- oder Fokusabstandes angeordnet. Die Abstandsmesseinrichtung (**19**) beinhaltet eine Messstrahlquelle (**28**), die einen Laser-Messstrahl (**27**) mit relativ geringer Leistung emittiert und diesen über die teildurchlässigen Spiegel (**14**,**15**) in den Strahlengang des zum Schweißen benutzten Laserstrahls (**6**) einkoppelt. Die Messstrahlquelle (**28**) kann einen einzelnen zentralen Laser-Messstrahl (**27**) emittieren, der sich in geeigneter Weise, z.B. durch Modulation, vom normalen Schweiß-Laserstrahl (**6**) unterscheidet und der relativ zum Laserstrahl (**6**) stationär ist. In der bevorzugten Ausführungsform wird ein wandernder Laser-Messstrahl (**27**) erzeugt, der mit Abstand vom Schweiß-Laserstrahl (**6**) in einer konzentrischen Kreisbahn um letzteren herum umläuft. Wie **Fig.** 5 und 7 verdeutlichen, beschreibt der Laser-Messstrahl (**27**) hierdurch vorzugsweise konzentrisch um den Prozessort (**21**) eine Messkreisspur (**29**), in deren Verlauf die Werkstück- bzw. Fokusabstände a ermittelt werden. Die Abstandsmessung geschieht mittels eines geeigneten Sensors (**26**), z.B. eines Laufzeitsensors. Der Laufzeitsensor (**26**) ist über die Strahlteiler (**14**,**15**) in den Strahlengang des vom Werkstück (**2**) reflektierten Laser-Messstrahls (**27**) eingekoppelt und misst die Zeitspanne zwischen Emission und Rückkehr des Laser-Messstrahls (**27**). Aus dieser Zeit kann anhand von Referenzwerten der Abstand des Auftreffpunktes des Laser-Messstrahls (**27**) am Werkstück (**2**) vom Sensor (**26**) und damit auch der Abstand des Laserkopfes (**9**) vom Werkstück (**2**) berechnet werden.

[0035] **Fig.** 5 bis 8 verdeutlichen diese Vorgänge bei zwei verschiedenen Nahtformen. In der ersten Variante von **Fig.** 5 und 6 wird z.B. eine I- oder Stumpfnaht (**37**) zwischen zwei stumpf gestoßenen Werkstücken geschweißt. Auf seinem Messkreis (**29**) wandert der Laser-Messstrahl (**27**) über eine Höhenänderung (**30**), hier einen Spalt, an der Stoßstelle der beiden Werkstücke, was sich im Diagramm von **Fig.** 6 in einer kleinen sprungweisen Abstandsvergrößerung bemerkbar macht. Im Bereich der Schweißraupe (**37**) sinkt entsprechend der Raupenwölbung der gemessene Abstand. **Fig.** 6 gibt diesen Abstands- oder Höhenverlauf in einem Diagramm wieder, wobei der vom Sensor (**26**) gemessene Abstand a über dem Bogenwinkel α bzw. über dem Weg des Laser-Messstrahls (**27**) im Messkreis (**29**) aufgetragen ist.

[0036] In der zweiten Variante von **Fig.** 7 und 8 sind die Verhältnisse für eine Kehlnaht (**38**) an zwei aufeinander liegenden Blechen dargestellt. In diesem Fall gibt es an der Kante (**3**) und der hier bestehenden stufenartigen Höhenänderung (**30**) eine sprungartige Abstandsverminderung. An der Kehlnaht (**38**) steigt der Abstand a entsprechend der Raupenform allmählich wieder an.

[0037] Die gemessenen Ist-Werte der Abstände a werden mit gespeicherten Soll-Werten verglichen, um hieraus eine Stellgröße zum evtl. Nachregeln des Strahlleitsystems (**10**) zu gewinnen. Außerdem kann durch diesen Abstandsvergleich die Position der Bahn (**3**) detektiert und überwacht werden. Dies kann an Stelle oder zusätzlich zum vorbeschriebenen Nahtsuchen mit dem Vorlauffeld (**23**) geschehen. Zudem kann die Form der Schweißraupen oder Schweißnähte (**37**,**38**) anhand ihrer abgetasteten Höhenkontur kontrolliert werden, was Rückschlüsse auf die Schweißqualität erlaubt. Dies kann ebenfalls an Stelle oder zusätzlich zur vorbeschriebenen Nahtkontrolle mit dem Qualitätsfeld (**22**) geschehen.

[0038] Der Radius des Messkreises (**29**) ist so groß gewählt, dass die Höhenänderungen (**30**) im Vorlauf in Bewegungsrichtung (**24**) rechtzeitig erfasst und verglichen werden können, um bei Abweichungen Korrekturmaßnahmen einleiten zu können. Andererseits kann durch diesen Radius die Schweißnaht (**37**,**38**) mit ausreichendem Abstand vom Prozessort (**21**) oder Keyhole in einer stabilisierten und teilweise abgekühlten Zone kontrolliert werden.

[0039] In Abweichung der gezeigten Ausführungsform muss der Messkreis (**29**) nicht konzentrisch zum Prozessort (**21**) verlaufen. Es kann auch eine andere Form von Messstrahlspuren erzeugt werden, die z.B. oval ausgebildet und längs der Bewegungsrichtung (**24**) bzw. der vermuteten Bahn (**3**) ausgerichtet ist. Beliebige andere Formen von Messstrahlspuren sind ebenfalls möglich.

[0040] Der Sensor (**26**) kann über Leitungen (**8**)

ebenfalls mit der Bildauswerteeinrichtung (**17**) bzw. der Steuerung (**18**) oder der Robotersteuerung (**25**) verbunden sein. In der Bildauswerteeinrichtung (**17**) werden die gleichzeitig mit den Bilddaten aufgenommenen Abstandsdaten verknüpft zur Generierung von dreidimensionalen Positionsdaten.

[0041] Mit dem optischen Erfassungssystem (**16**) und ggf. der Abstandsmesseinrichtung (**19**) kann die tatsächliche Lage der zu verfolgenden Bahn (**3**) bzw. Werkstückkante als Bild im Gesichtsfeld (**20**) der Kamera aufgenommen und vermessen werden. Die Kanten- oder Linienerfassung kann z.B. über Hell/Dunkelunterschiede geschehen. Hierbei kann außer der Position der Bahn (**3**) am Werkstück (**2**) auch ihre Ausrichtung ermittelt werden, um zu erkennen, ob der programmierte Bewegungsverlauf des Laserstrahls (**6**) noch mit der Ist-Lage der Bahn (**3**) übereinstimmt. Die aufgenommene Bahn (**3**) sollte sich in projezierter Verlängerung durch das Zentrum des Beobachtungsfensters (**20**) oder bei bewußtem Bahnversatz durch einen anderen festgelegten Bezugspunkt erstrecken.

[0042] Durch die Bildauswertung und die Vermessung kann die Position jedes Punktes der Bahn (**3**) im Gesichtsfeld (**20**) genau erfasst und bestimmt werden. Unter gleichzeitiger Erfassung und Verknüpfung mit den Weg- und/oder Zeitdaten (insbesondere bei vorgegebenem Weg) der Spiegelbewegung und/oder der Relativbewegung zwischen Laserkopf (**9**) bzw. Roboter (**4**) und Werkstück (**2**) kann die räumliche Lage der Bahn (**3**) am Werkstück (**2**) exakt bestimmt und vermessen werden. Aus der Roboterposition und der Robotersteuerung (**25**) ist hierbei die exakte Position des Laserkopfes (**9**) mit den Spiegeln (**11**,**12**) bekannt. Für den Einsatz und die Funktion der Lasereinrichtung (**1**) gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich insbesondere auch in einem Offline- und einem alternativen Online-Betrieb unterscheiden.

[0043] In der einen Ausführungsform kann zunächst die zu verfolgende Bahn (**3**) offline an ein oder mehreren einzelnen Bahnpunkten oder in ihrem teilweisen Verlauf oder auch in ihrem gesamten Verlauf durch das optische Erfassungssystem (**16**) als 2D-Bild aufgenommen, ausgewertet und gespeichert werden. Dies kann mit und ohne Laserstrahl (**6**) geschehen, insbesondere wenn ausreichendes Umgebungslicht zur Verfügung steht. Statt eines Schweißstrahls mit entsprechend hoher Laserleistung kann ggf. auch ein Messstrahl mit niedrigerer Laserleistung geschaltet werden. In weiterer Abwandlung kann eine Fremdlichtquelle zur ausreichenden Beleuchtung eingesetzt werden, wenn der Laserstrahl (**6**) noch nicht gezündet ist.

[0044] Durch die Bildauswertung in Verbindung mit der bekannten Position des Laserkopfes (**9**) kann somit die Ist-Lage der Bahn (**3**) am Werkstück (**2**) exakt aufgenommen und bestimmt werden. Durch Verknüpfung mit den vom Sensor (**19**) gelieferten Abstandsdaten kann die Lage der Bahn (**3**) im Raum mit Bezug auf die bekannte Roboterposition und die Lage des Laserkopfes (**9**) bestimmt werden.

[0045] Anhand dieser Ist-Lage der Bahn (**3**) kann nun das Bahnprogramm des Roboters (**4**) und das Steuerprogramm für die Bewegung der Spiegel (**11**,**12**) mit der hier vorgegebenen Soll-Lage der Bahn (**3**) verglichen und ggf. eine Korrektur der Steuer- und Bahnprogramme durchgeführt werden. Hierbei wird die Bahn (**3**) in einem ersten Suchschritt vor dem eigentlichen Schweißvorgang aufgenommen und das Bahnprogramm ggf. entsprechend korrigiert. In einem weiteren vorgeschalteten Schritt wird das gesamte installierte System zunächst auf die vorhandenen Umgebungsbedingungen kalibriert. Zum Schweißen kann mit dem offline korrigierten Bahnprogramm die Bahn (**3**) mit dem Roboter (**4**) und dem emittierten Laserstrahl (**6**) angefahren und entsprechend des vorprogrammierten Weges verfolgt werden. In einer ersten Variante kann hierbei auf eine weitere Sensorbeeinflussung verzichtet werden.

[0046] In einer zweiten Variante kann in der vorbeschriebenen Weise die Ist-Lage der Bahn (**3**) zunächst gesucht und dann das Bahnprogramm bzw. Steuerprogramm der Spiegel (**11**,**12**) bei Abweichungen von Soll- und Istlage korrigiert werden. Beim anschließenden Schweißprozess kann abweichend von der ersten Variante über das optische Erfassungssystem (**6**) und ggf. auch der Abstandsmesseinrichtung (**19**) die Einhaltung der programmierten Bahn online überwacht werden. Dies erfolgt mittels des Vorlauffeldes (**23**) in ausreichendem Abstand und zeitlichem Vorlauf vor dem Prozessort (**21**). Hierbei wird im Vorlauffenster (**23**) die Ist-Lage der Bahn (**3**) ermittelt, mit der zuvor erfassten Lage der Bahn (**3**) an gleicher Stelle durch Vergleich der Bilddaten oder ggf. der komplexen Positionsdaten verglichen und bei Abweichungen die programmierte Roboterbewegung und/oder Spiegelbewegung entsprechend korrigiert. Auf diese Weise kann die Einhaltung der vorgegebenen Bahn (**3**) während des Schweißprozesses online überwacht und ggf. nachgeregelt werden. Dies schließt auch evtl. Schräglagenkorrekturen bei Bahnabweichungen ein.

[0047] Zudem ist es möglich, das Beobachtungsfenster (**20**) ohne den Laserkopf (**9**) bei Bedarf um die vom Laserstrahl (**6**) gebildete Achse zu drehen und nach der erfassten Bahn (**3**) auszurichten. Dies kann z.B. geschehen, um einer stark verwinkelten oder gekrümmten Bahn optisch schnell folgen zu können, ohne dabei den relativ trägen Laserkopf (**9**) ständig mitdrehen zu müssen.

[0048] In einer dritten Variante kann auf die dem Schweißprozess vorgeschaltete Suche und Erfassung der Bahn (**3**) verzichtet werden. In diesem Fall wird die Bahn (**3**) online während des Schweißprozesses gesucht und verfolgt. Hierbei wird zunächst der Laserkopf (**9**) am grob vorprogrammierten Bahnanfang positioniert, wobei im Gesichtsfeld (**20**) der Naht- bzw. Bahnanfang gesucht und der Laserstrahl (**6**) durch Roboter- und/oder Spiegelbewegung am gewünschten Anfangspunkt der Bahn (**3**) exakt posi-

tioniert wird. In dem anschließend startenden Schweißprozess wird in der vorbeschriebenen Weise über das Vorlauffenster (**23**) die Bahn (**3**) gesucht und der nachfolgende Laserstrahl (**6**) entsprechend durch Roboter- und/oder Spiegelbewegung positioniert. Bei dieser Online-Bahnverfolgung kann der Prozessort (**21**) aufgrund der Lichtintensität während des Schweißprozesses mit einer nachfolgend beschriebenen Blendeneinrichtung (**32**) ausgeblendet werden.

[0049] Während des Schweißprozesses kann außerdem die gesetzte Schweißnaht (**37**,**38**) über das Qualitätsfeld (**22**) überprüft und überwacht werden. Hierbei wird das aufgenommene Nahtbild mit gespeicherten Nahtbildern auf Einhaltung vorgegebener Kriterien, z.B. Breite, Höhe, Oberflächenaussehen etc. überwacht. Hierbei kann auch ein Bildvergleich mit vorher aufgenommenen und gespeicherten Bildern korrekter Schweißnähte durchgeführt werden. Falls Abweichungen in der Schweißnahtqualität festgestellt werden, können die den Schweißprozess beeinflussenden Parameter von der Schweißsteuerung z.B. anhand einer Technologie-Datenbank automatisch nachgeregelt werden, um die gewünschte Qualität wieder herzustellen.

[0050] Alternativ oder zusätzlich zur Nahtprüfung im Erfassungsfeld (**22**) kann die Nahtqualität bzw. die Prozessgüte direkt am Prozessort (**21**) anhand geeigneter Merkmale überwacht und gegebenenfalls für eine Nachregelung herangezogen werden. Hierbei kann z.B. die Helligkeit oder Farbe des Lichtes am Prozessort (**21**) überwacht werden. Durch eine geeignete dynamische Blendeneinrichtung (**32**) kann gegebenenfalls auch die Intensität des reflektierten Lichtes am Prozessort (**21**) im Gesichtsfeld (**20**) reduziert werden, um eine direkte optische Beobachtung der Vorgänge am Prozessort (**21**) zu ermöglichen.

[0051] Für die Ausbildung der dynamischen Blendeneinrichtung (**32**) gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich z.B. auch mach der Art der eingesetzten Kamera (**16**) unterscheiden können.

[0052] **Fig.** 2 zeigt hierzu ein Ausführungsbeispiel mit mindestens einer der Kamera (**16**) vorgeschalteten mechanischen Blende (**33**), die mittels einer automatisch gesteuerten Stelleinrichtung (**34**) bei Bedarf in den Strahlengang eingebracht und wieder entfernt wird. Eine solche mechanische Blende (**33**) kann im Bereich um den Strahlengang bzw. den Prozessort (**21**) einen abgedunkelten Bereich haben, der das unmittelbar vom Prozessort (**21**) und von der näheren Umgebung reflektierte sehr helle Laserlicht abschattet oder vollständig ausblendet. Die Kamera (**16**) sieht dann nur den umgebenden Bereich im Gesichtsfeld (**20**). Sie kann sich dadurch auf die dort herrschenden Licht- und Helligkeitsverhältnisse optimal einstellen. Dies ist insbesondere bei optischen Erfassungssystemen (**16**) mit einheitlicher Bilderfassung, z.B. einer CCD-Kamera, nützlich. Überstrahlungen des den Prozessort (**21**) umgebenden Umfelds werden vermieden, so dass das Umfeld ordnungsgemäß optisch aufgenommen und ausgewertet werden kann.

[0053] Wenn andererseits der Prozessort (**21**) beobachtet werden soll, wird die mechanische Blende (**33**) wieder entfernt, insbesondere ausgeschwenkt. Sie kann alternativ aber auch gegen eine andere mechanische Blende ausgetauscht werden, die das Umfeld rund um den Prozessort (**21**) ausblendet und nur das Prozesslicht durchlässt. Ferner ist es möglich, in einer anderen Blende im Bereich um den Prozessort (**21**) einen Farbfilter oder dergleichen andere optische Beeinflussungsmittel für das vom Prozessort (**21**) reflektierte Prozesslicht vorzusehen, die die Erfassung und Auswertung erleichtern. Hierbei können z.B. durch leichte Verdunklungen ebenfalls Überstrahlungen vermieden und das reflektierte Licht gedämpft bzw. der Kontrast verbessert werden.

[0054] **Fig.** 4 verdeutlicht eine andere Variante der dynamischen Blendeneinrichtung (**32**), die für optische Erfassungssysteme mit einer dynamischen Bilderfassung, z.B. mit einer CMOS-Kamera, einsetzbar ist. Bei einer CMOS-Kamera können die Bildpunkte oder Pixel des Bildsensors während der Aufnahme einzeln angesprochen und beeinflusst werden. Hierbei werden im Beobachtungsfeld (**20**) der Kamera (**16**) bzw. am Bildsensor zumindest zwei unterschiedliche Messfeldbereiche (**35**,**36**) oder Pixelbereiche definiert. Der eine Messfeldbereich (**35**) befindet sich in der Zone des Prozessortes (**21**) und seiner näheren Umgebung. Das weitere Umfeld kann in ein oder mehreren Messfeldbereichen (**36**) einbezogen sein, wobei hier ggf. auch die vorbeschriebenen Erfassungsfelder (**22**,**23**) definiert werden können. Im zentralen Messfeldbereich (**35**) um den Prozessort (**21**) können die Bild- oder Sensorpunkte abgeschaltet werden, wenn das Umfeld im Vor- und Nachlauf und insbesondere an den Erfassungsfeldern (**22**,**23**) beobachtet werden soll. Durch diese dynamische Ausblendung des hellen Prozessorbereichs werden ebenfalls Überstrahlungen vermieden.

[0055] Eine CMOS-Kamera hat zwar einen sehr hohen Dynamikbereich, wobei der nutzbare und für die Auswertung heranziehbare Kontrastbereich deutlich kleiner ist. Durch das Ausschalten des Messfeldbereichs (**35**) um den Prozessort (**21**) können sich der oder die anderen Messfeldbereiche (**36**) der Prozessortumgebung optimal auf die dortigen Lichtverhältnisse einstellen und die Bilder erfassen sowie auswerten.

[0056] Wenn andererseits der Prozessort (**21**) beobachtet werden soll, kann der zentrale Messfeldbereich (**35**) aktiv geschaltet werden, so dass sich die CMOS-Kamera auf die hier herrschenden Lichtverhältnisse einstellt. Hierbei können die Bild- oder Sensorpunkte im Messfeldbereich (**35**) in der Lichtempfindlichkeit abgestuft und niedriger geschaltet werden. Der umgebende Messfeldbereich (**36**) kann ggf. abgeschaltet werden.

[0057] Mit dem optischen Erfassungssystem (**16**) werden während des Betriebes vorzugsweise ab-

wechselnd Bilder vom Prozessort (**21**) und seiner weiteren Umgebung aufgenommen und eigenständig ausgewertet, wobei die dynamische Blendeneinrichtung (**32**) entsprechend taktweise umgeschaltet wird. Die Aufnahme und Auswertung der weiteren Umgebung kann hierbei ebenfalls noch einmal in unterschiedliche Bilder, z.B. von den Erfassungsfeldern (**22**,**23**) und/oder vom Messkreis (**29**), unterteilt werden. In einem solchen Zyklus könnte beispielsweise zuerst das Erfassungsfeld (**23**) für den Vorlauf, anschließend der Prozessort (**21**), ggf. ergänzt vom Messkreis (**29**), und danach das Erfassungsfeld (**22**) für die Nahtqualität aufgenommen und ausgewertet werden. Dieser Zyklus kann sich dann beliebig oft wiederholen.

[0058] Innerhalb der Zyklen kann es aus verschiedenen Gründen, z.B. bei Auftreten von Ungleichmäßigkeiten, Fehlern oder dgl. zu Änderungen in der Bildfolge kommen, um durch mehrmalige Bildaufnahmen und -auswertungen des gleichen Bereichs eine Nachregelung oder Kompensation für etwaige Abweichungen oder Fehler beobachten und überwachen zu können. Dementsprechend wird auch die dynamische Blendeneinrichtung (**32**) gesteuert, die hierzu ebenfalls vorzugsweise mit der Bildauswerteeinrichtung (**17**) und der Steuerung (**18**,**19**) verbunden ist.

[0059] Abwandlungen der gezeigten Ausführungsformen sind in verschiedener Weise möglich. Zum einen kann auf den Abstandsensor (**26**) verzichtet werden. Er kann alternativ auch an anderer geeigneter Stelle angeordnet sein. Variabel ist ferner die Ausgestaltung und Anordnung der Laseroptik bzw. des Strahlleitsystems (**10**), der Spiegel (**11**,**12**) und der Spiegelantriebe (**13**). Die optische Erfassungseinrichtung (**16**) lässt sich gleichfalls in konstruktiver Ausführung und Funktion sowie Anordnung abwandeln. Es empfiehlt sich jedoch eine optische Einkopplung in den Laserstrahlgang vor den beweglichen Spiegeln, um den stets gleichbleibenden Blick auf den Prozessort (**21**) zu behalten. In diesem Fall kann die Kamera stationär angeordnet sein. In Abwandlung lässt sich die Kamera auch an einem Spiegel, gegebenenfalls an einem bewegten Spiegel montieren und mit diesem mitbewegen.

[0060] Die genannten Verfahrensschritte können nicht nur zu dem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel des Laserschweißens eingesetzt werden. Sie können auch zum Laserschneiden Verwendung finden. Insbesondere wenn die zu verfolgende Bahn (**3**) in geeigneter Weise optisch sichtbar und erfassbar gemacht wird. Dies kann z.B. durch eine repräsentative Markierung neben oder auf der Schneidbahn geschehen. Ansonsten kann auch hinter dem Prozessort die entstehende Trenn- oder Schnittkante detektiert und in ihrer Lage mit vorgegebenen Bild- bzw. Positionsdaten verglichen werden, um den korrekten Bahnverlauf wenigstens relativ zeitnah überwachen und gegebenenfalls durch einen Prozessstopp oder eine Bahnkorrektur eingreifen zu können.

Bezugszeichenliste

1	Lasereinrichtung, Laserschweißeinrichtung
2	Werkstück
3	Bahn, Naht, Kante
4	Manipulator, Industrieroboter
5	Strahlführung
6	Laserstrahl
7	Strahlquelle
8	Leitung
9	Laserkopf
10	Strahlleitsystem
11	Spiegel
12	Spiegel
13	Spiegelantrieb
14	Strahlteiler, teildurchlässiger Einkoppelspiegel
15	Strahlteiler, teildurchlässiger Einkoppelspiegel
16	optisches Erfassungssystem, Kamera
17	Bildauswerteeinrichtung
18	Steuerung
19	Abstandsmesseinrichtung
20	Gesichtsfeld, Beobachtungsfeld Kamera
21	Prozessort
22	Erfassungsfeld Qualität, Qualitätsfeld
23	Erfassungsfeld Vorlauf, Vorlauffeld
24	Bewegungsrichtung
25	Robotersteuerung
26	Sensor, Laufzeitsensor
27	Laser-Messstrahl
28	Messstrahlquelle
29	Messstrahlspur, Messkreis
30	Höhenänderung, Stufe, Spalt
31	Kameramessfeld
32	Blendeneinrichtung
33	Blende mechanisch
34	Stelleinrichtung Blende
35	Messfeldbereich Prozessort
36	Messfeldbereich Umgebung
37	Schweißraupe Stumpfnaht
38	Schweißraupe Kehlnaht

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen oder Schneiden von ein oder mehreren Werkstücken (**2**) entlang einer vorgegebenen Bahn (**3**), insbesondere einer Werkstückkante, mit einem stationären oder bewegten Laserkopf (**9**), der über ein Strahlleitsystem (**10**) den von einer Strahlquelle (**7**) einkoppelbaren Laserstrahl (**6**) auf den Prozessort (**21**) fokussiert, wobei der Prozess mit einem in den Strahlengang eingekoppelten optischen Erfassungssystem (**16**) beobachtet wird, welches mit einem erweiterten Gesichtsfeld (**20**) den Prozessort (**21**) und dessen weitere Umgebung erfasst und auswertet, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prozessort (**21**) und dessen weitere Umgebung abwechselnd optisch erfasst und ausgewertet werden, wobei zum Erfassen der Umgebung der Pro-

zessort (**21**) durch eine dynamische Blendeneinrichtung (**32**) temporär ausgeblendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Erfassungssystem (**16**) die vom Laserstrahl (**6**) zu verfolgende Bahn (**3**) weg- und/oder zeitabhängig als 2D-Bild aufnimmt und zur Positionsbestimmung auswertet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Abstandsmesseinrichtung (**19**) der Fokusabstand weg- und/oder zeitabhängig gemessen und ausgewertet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokusabstand mit einem in den Strahlengang des Laserstrahls (**6**) eingekoppelten Laser-Messstrahl (**28**) und einem mit in dessen Reflektionstrahl eingekoppelten Sensor (**19**), vorzugsweise einen Laufzeitsensor, gemessen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser-Messstrahl (**28**) in einer Messstrahlspur (**29**) um den Laserstrahl (**6**) umlaufend bewegt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zu verfolgende Bahn (**3**) mit einem Laser-Messstrahl offline an ein oder mehreren einzelnen Bahnpunkten oder in ihrem teilweisen oder gesamten Verlauf als 2D-Bild aufgenommen, ausgewertet und gespeichert wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokusabstand an der zu verfolgende Bahn (**3**) mit einem Laser-Messstrahl offline an ein oder mehreren einzelnen Bahnpunkten oder im teilweisen oder gesamten Bahnverlauf aufgenommen, ausgewertet und gespeichert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bild- und Abstandsdaten verknüpft und gemeinsam als 3D-Daten gespeichert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlleitsystem (**10**) den Laserstrahl (**6**) durch gesteuerte (**18**) Bewegung von ein oder mehreren Spiegeln (**11**,**12**) auf den Prozessort (**21**) richtet.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Schweißen oder Schneiden der Laserkopf (**9**) auf den Bahnanfang positioniert und nach zwei oder drei Richtungen justiert wird, wobei der Laserkopf (**9**) und/oder das Strahlleitsystem (**10**) nach den gespeicherten 2D- oder 3D-Daten der Bahn (**3**) gesteuert werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Schweißen oder Schneiden die verfolgte Ist-Bahn (**3**) oder eine bahn-repräsentative Markierung und ggf. der Abstand online aufgenommen, mit den gespeicherten 2D- oder 3D-Daten für die Soll-Bahn verglichen und das Strahlleitsystem (**10**) bei Bahnabweichungen nachgeregelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Erfassungssystem (**16**) mit einem Vorlauffenster (**23**) die zu verfolgende Bahn (**3**) vor dem Prozessort (**21**) sucht und auswertet.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Erfassungssystem (**16**) in einem Nachlauffenster (**22**) die Schweißqualität prüft und überwacht.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein programmierbarer Manipulator (**4**), vorzugsweise ein mehrachsiger Industrieroboter, den Laserkopf (**9**) und das Strahlleitsystem (**10**) entlang eines vorprogrammierten Weges relativ zum Werkstück (**2**) führt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Manipulator (**4**) grob auf die zu verfolgende Bahn (**3**) programmiert wird, wobei die Ist-Lage der Bahn (**3**) mit dem optischen Erfassungssystem (**16**) und ggf. mit, der Abstandsmessung online gesucht und der Laserkopf (**9**) und/oder das Strahlleitsystem (**10**) online gesteuert wird.

16. Vorrichtung zum Schweißen oder Schneiden mittels Laserstrahl (**6**) und zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bestehend aus einem programmierbaren Manipulator (**4**), vorzugsweise einem mehrachsigen Industrieroboter, der einen an eine Strahlquelle (**7**) anschließbaren Laserkopf (**9**) aufweist, welcher mit einem Strahlleitsystem (**10**) und einer Steuerung (**18**) sowie einem mittels Strahlteiler (**14**) in den Strahlengang einkoppelbaren optischen Erfassungssystem (**16**) ausgerüstet ist, wobei das optische Erfassungssystem (**16**) ein den Prozessort (**21**) und dessen Umgebung erfassendes erweitertes Gesichtsfeld (**20**) und eine die Bahn (**3**) erfassende Bildauswerteeinrichtung (**17**) aufweist sowie mit der Steuerung (**18**) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Erfassungssystem (**16**) eine dynamische Blendeneinrichtung (**32**) zum temporären Ausblenden des Prozessorts (**21**) aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Blendeneinrich-

tung (**32**) ein oder mehrere mechanische Blenden (**33**) mit einer steuerbaren Stelleinrichtung (**34**) aufweist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die dynamische Blendeneinrichtung (**32**) mehrere dem Prozessort (**21**) und der weiteren Umgebung zugeordnete und einzeln schaltbare Messfeldbereiche (**35**,**36**) im Bildsensor einer dynamischen Kamera (**16**) aufweist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass im oder am Laserkopf (**9**) eine Abstandsmesseinrichtung (**19**) für den Fokusabstand angeordnet und mit Bildauswerteeinrichtung (**17**) und/oder der Steuerung (**18**) verbunden ist.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandsmesseinrichtung (**19**) eine in den Strahlengang des Laserstrahls (**6**) eingekoppelte Messstrahlquelle (**28**) für einen Laser-Messstrahl (**27**) und einen Laufzeitsensor (**26**) aufweist.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Gesichtsfeld der Kamera (**16**) in Bewegungsrichtung (**24**) vor dem zentralen Prozessort (**21**) ein Erfassungsfeld (**23**) für den Vorlauf angeordnet ist.

22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Gesichtsfeld der Kamera (**16**) in Bewegungsrichtung (**24**) hinter dem zentralen Prozessort (**21**) ein Erfassungsfeld (**22**) für die Prozessqualität angeordnet ist.

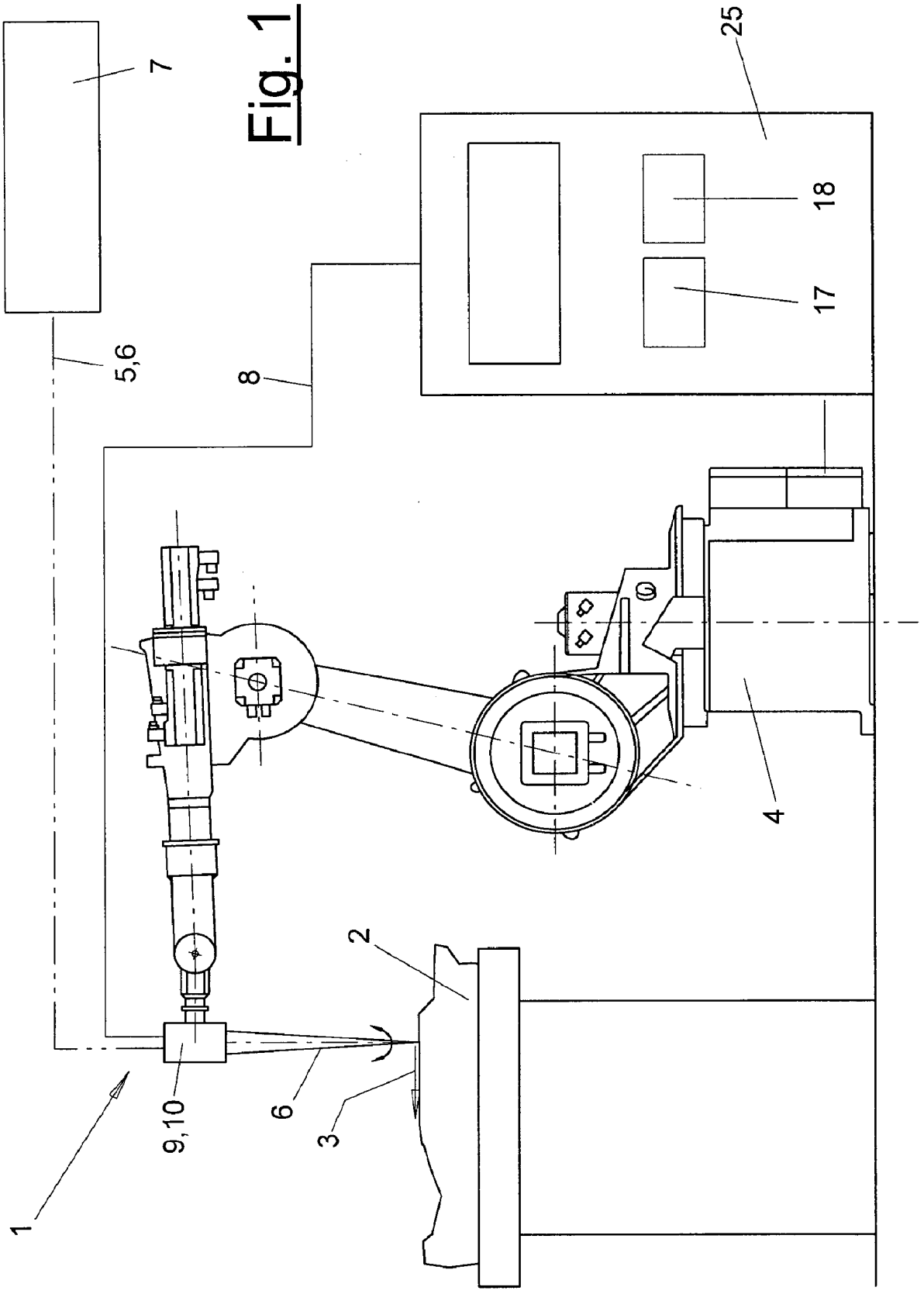
23. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Erfassungssystem (**16**) als digitale Kamera mit Bildsensor, vorzugsweise als CCD- oder CMOS-Kamera, ausgebildet ist.

24. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlleitsystem ein oder mehrere bewegliche, angetriebene Spiegel (**11**,**12**) und eine Steuerung (**18**) aufweist, wobei der Strahlteiler (**14**) vor den beweglichen Spiegeln (**11**,**12**) angeordnet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



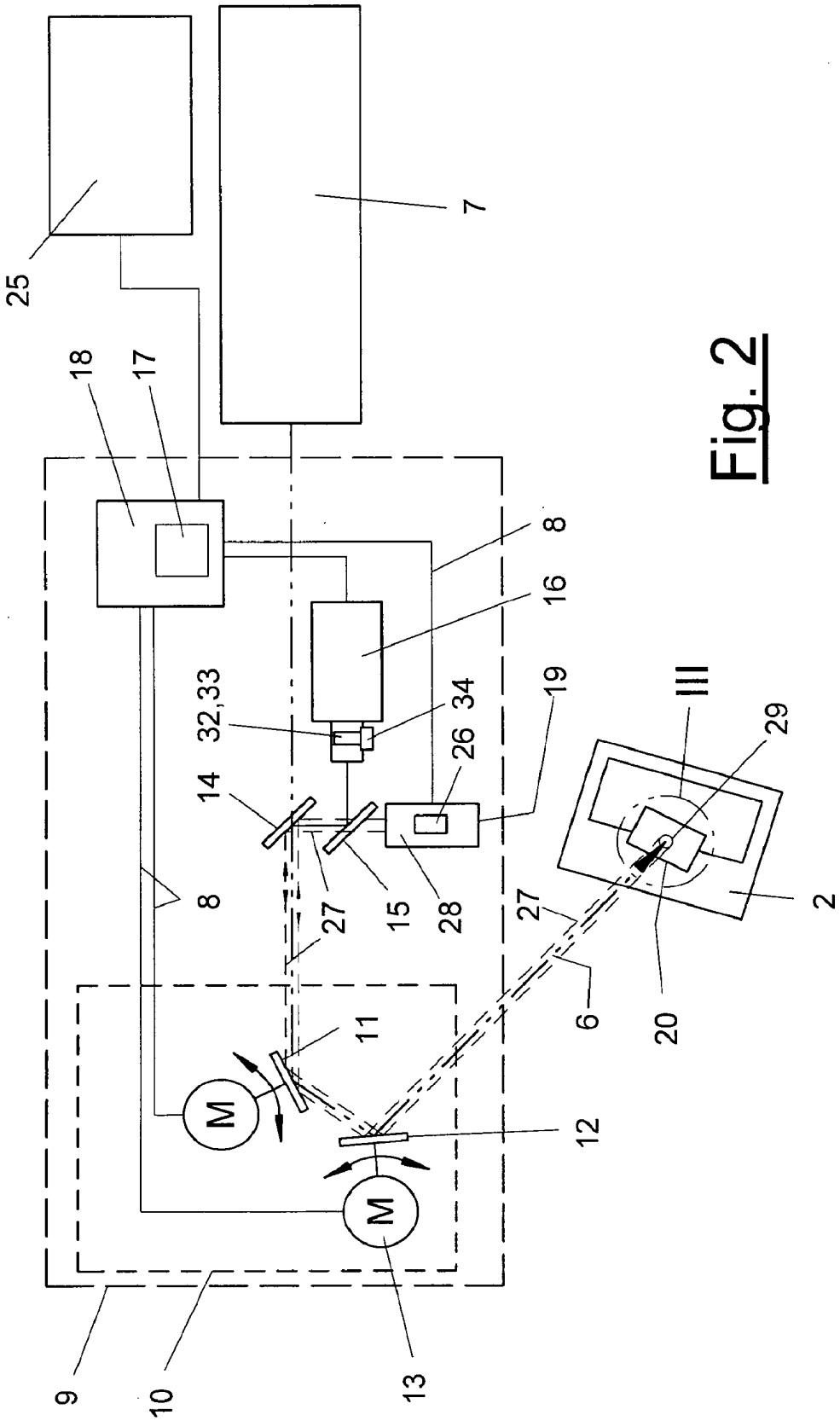

25
7
18
17
8
16
32,33
34
19
26
14
27
15
28
8
27
29
III
2
6
20
11
M
12
M
9
10
13

Fig. 2

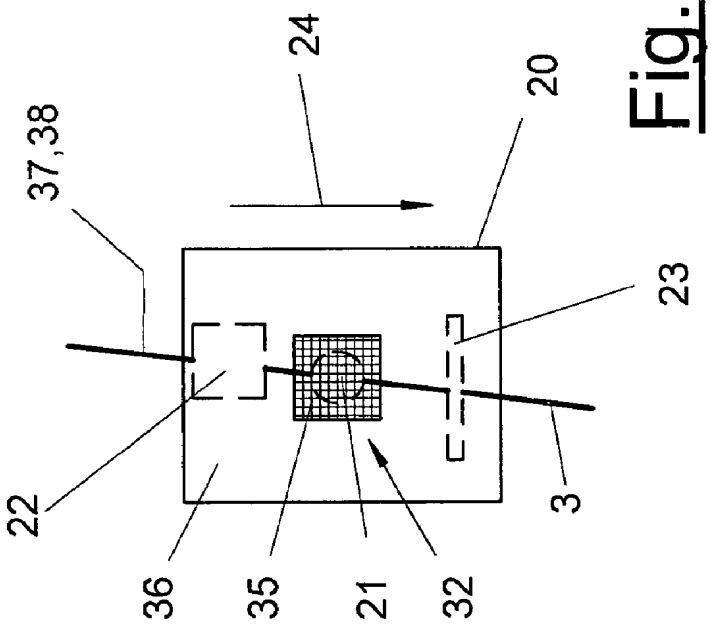


Fig. 4

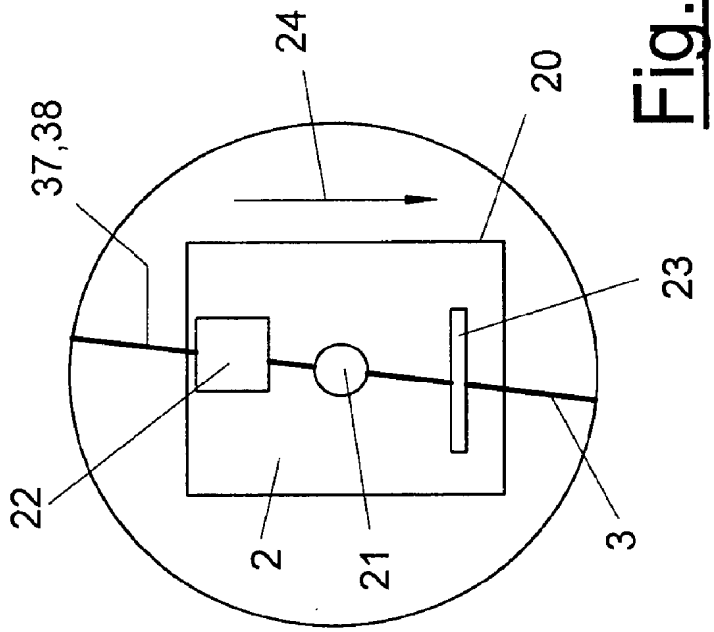


Fig. 3

Fig. 5

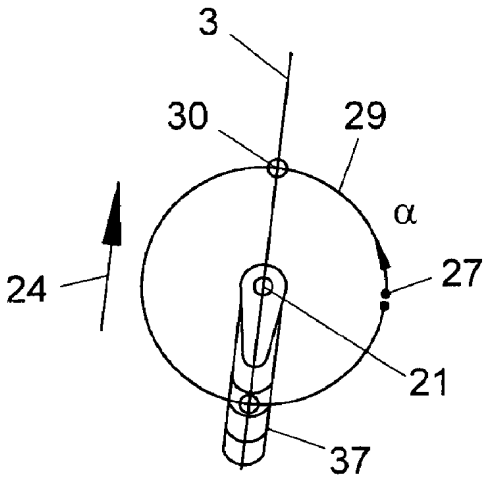
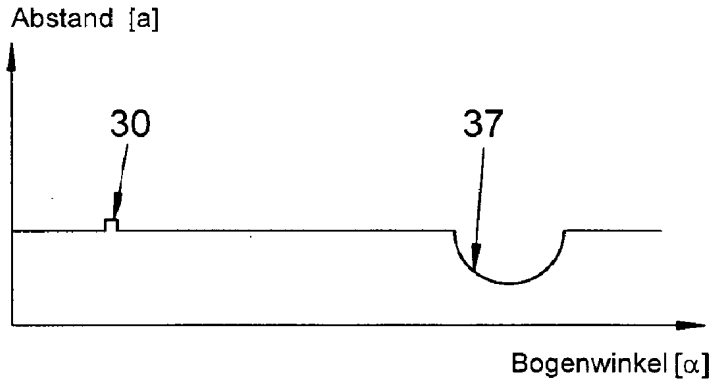


Fig. 6



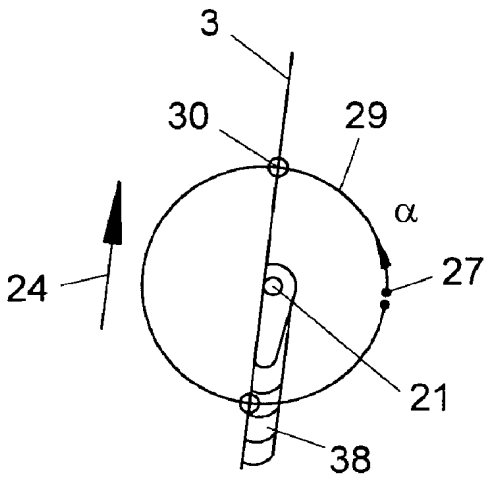


Fig. 8

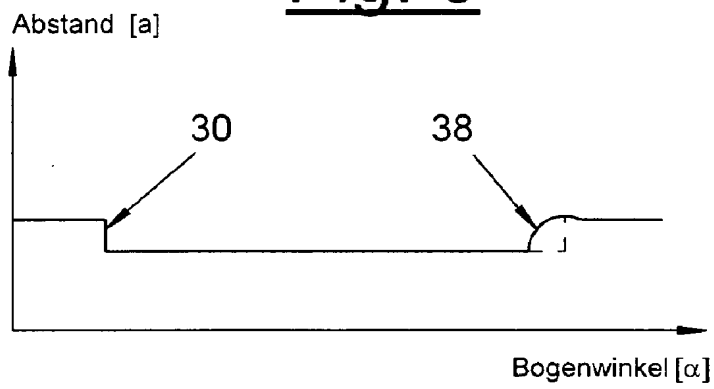


Fig. 7